

III. TEHLİKELİ KİMYASALLARIN YÖNETİMİ SEMPOZYUMU VE SERGİSİ

"ENDÜSTRİ TESİSLERİ İÇİN
KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ"

Dr. Saliha ÇETİNYOKUŐ (Kimya Yüksek Mühendisi)
Planlama ve Zarar Azaltma Dairesi
Teknolojik Afetler Çalışma Grubu

SUNUM İÇERİĞİ

1. GİRİŞ

2. KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

2.1. Akış Etkilerine Göre Değerlendirmeler

2.2. Tehlike Senaryoları

2.2.1. Senaryo A

2.2.2. Senaryo B

2.2.3. Senaryo C ve D

2.2.4. Senaryo E

2.2.5. Senaryo F

2.3. Örnek Uygulama

3. SONUÇLAR

KAYNAKLAR

GİRİŞ

- 30 Aralık 2013 tarihi ile "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik" 28867 Mükerrer sayılı Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe girmiş bulunmaktadır.
- Yönetmeliğin temel amacı, tehlikeli maddeleri içeren endüstriyel tesislerde büyük endüstriyel kazaları önlemek, kazaların insan ve çevre üzerine olumsuz etkilerini sınırlandırmaktır.
- Yönetmelik, belirli isim ve miktarlarda tehlikeli maddelerin bulunduğu kuruluşlara uygulanmaktadır.
- Bir işletme, Ek I' in, 1. ve 2. bölümlerinde listelenmiş olan tehlikeli madde miktarının üzerindeyse Yönetmeliğin tüm hükümlerine uymakla yükümlüdür.

Yönetmeliğin uygulanmasında AFAD İl Müdürlükleri için görev ve sorumluluklar:

- İlin afet ve acil durum tehlike ve risklerini belirlemek,
- Harici Acil Durum Planlarını hazırlamak/hazırlatmak,
- Afet ve acil durum önleme ve müdahale il planlarını, mahalli idareler ile kamu kurum ve kuruluşlarıyla işbirliği ve koordinasyon içinde yapmak ve uygulamak,
- Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer maddelerin tespiti, teşhisi ve arındırması ile ilgili hizmetleri yürütmek, ilgili kurum ve kuruluşlar arasında işbirliği ve koordinasyonu sağlamak,
- Harici eylem planlarını yapmak, risk haritalarını hazırlamak, kaza sırasında ve sonrasında müdahalede bulunmaktır.

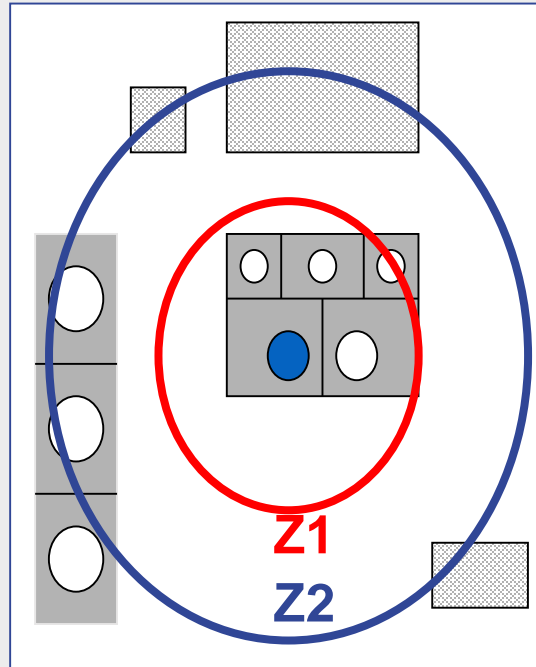
- Harici acil durum planlarının hazırlanması için endüstri tesisi çevresinde tehlike etki alanının belirlenmesi bilgisine gereksinim duyulmaktadır.
- İşletmeci, yönetmeliğin "Halkın Bilgilendirmesi" maddesindeki yükümlülüğünü yerine getirirken de etki alanı bilgisini AFAD İl Müdürlüklerinden öğrenmek durumundadır.
- Ayrıca, AFAD İl Müdürlükleri, kuruluşların konumu ve bulundurduğu tehlikeli maddeler nedeniyle büyük kaza ihtimalini veya sonuçlarını artırabilecek(domino etkisi) durumları dikkate alarak kuruluş gruplarını tayin etmekten sorumludur.
- 1 Haziran 2015 tarihinde Seveso III Direktifi' nin yürürlüğe girmesi ile "Arazi Planlaması" kavramı gündeme gelecek, etki mesafesi değerlendirmesi ilgi toplayacaktır.

...GİRİŞ

- Endüstri tesislerinde **proses tehlike analizi**, Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi(HAZOP), Tehlike Belirleme Çalışmaları(HAZID), Hata Türleri ve Etki Analizi(Hata Ağacı, Olay Ağacı ve Bow-Tie) , Olursa Ne Olur (What If?) yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmektedir.
- Tüm işlev koşullarının incelenmesine imkan sağlaması, sistemin her bir bileşeni yerine işlev parametrelerinin sapmalarına izin vermesi ve termo-hidrolik sistemler için kullanılan etkin yöntem olması nedeniyle **HAZOP** öne çıkan bir yöntemdir.
- Tehlikeli madde barındıran tesislerde olası toksik yayılım, yangın ve patlama etki alanlarının belirlenmesinde **model yaklaşımları**ndan(gauss, integral ve CFD) yararlanılmaktadır. PHAST, EFFECTS sonuç, şiddet; RISKCURVES ve SAFETI frekans belirleyen programlardır.
- Hollanda' da yayımlanan **Yellow Book** kitabı son dönemde, tehlikeli maddelerin güvenlik ve risk değerlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan önemli bir araç haline gelmiştir. Tasarımcılar, endüstriyel ekipman üreticileri, operatörler ve sorumlu yetkililer için kitap modelleri kullanıma açık haldedir. Kullanıcı, fiziksel etkilerin tahmini, geliştirilen modeller, modellerin seçimi için genel ilkelerin anlaşılması ve modeller için uygulanabilir koşulların seçimi konularında kazanımlara kavuşmaktadır.
- Bu çalışmada, ilgili Yellow Book kitabı incelenerek, endüstri tesislerinin koruma alanlarına ait etki mesafelerinin belirlenmesi için altı adet senaryo geliştirilmiştir. Her bir senaryo başlığı altında, üç aşamalı etki mesafesi(domino etki, ölümcül etki ve önemli yanık eşliğine ait etki) değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

- Koruma alanları, tehlike kaynağı merkezli çemberler şeklinde düzenlenmiştir.
- Depolama tanklarının depolama süresi ve operasyon şartları sabit ve kararlı olduğu için bu tanklar tehlike çemberinin merkezi olarak düşünülerek koruma alanları oluşturulmuştur.
- Tehlike çemberleri basınç, ısı akışı veya toksik akış etkilerine göre değerlendirilmiştir.



Basınç:

$$Z1 \Rightarrow \Delta P = 140 \text{ mbar}$$

$$Z2 \Rightarrow \Delta P = 50 \text{ mbar}$$

Isı akışı:

$$Z1 \Rightarrow \Phi = 5 \text{ kW.m}^{-2}$$

$$Z2 \Rightarrow \Phi = 3 \text{ kW.m}^{-2}$$

Toksik akış:

$$Z1 \Rightarrow \text{Öldürücü Eşik } 1\%$$

$$Z2 \Rightarrow \text{Önemli Eşik Etkileri}$$

2.1. Akış Etkilerine Göre Değerlendirmeler

Basınç

Çizelge 1. İnsanlar için basınca bağlı etki eşiği değerleri

20 mbar	İnsan üzerine camın kırılması yoluyla dolaylı etki alanına ilişkin geri döndürülemez etki eşiği
50 mbar	İnsan yaşamı için ciddi tehlike teşkil eden alanlara ilişkin geri döndürülemez etki eşiği
140 mbar	İnsan yaşamı için ciddi tehlike teşkil eden alanlara ilişkin ölümcül etkiler eşiği
200 mbar	İnsan yaşamı için çok ciddi boyutta tehlike teşkil eden alanlara ilişkin önemli ölümcül etkiler eşiği

Çizelge 2. Yapılar için basınca bağlı etki eşiği değerleri

20 mbar	Pencerelerin önemli derecede tahribatı eşiği
50 mbar	Yapılar üzerinde hafif hasar eşiği
140 mbar	Yapılar üzerinde ciddi hasar eşiği
200 mbar	Domino etkisi eşiği
300 mbar	Yapılar üzerinde çok ciddi boyutta hasar eşiği

Isı akışı

Çizelge 3. İnsanlar için ısı akışa bağlı etki eşiği değerleri

3 kW/m ²	İnsan yaşamı için önemli tehlikelere ilişkin geri döndürülemez etkiler eşiği
5 kW/m ²	İnsan yaşamı için ciddi tehlike teşkil eden alanlara ilişkin erken ölümcül etkiler eşiği
8 kW/m ²	İnsan yaşamı için çok ciddi boyutta tehlike teşkil eden alanlara ilişkin önemli ölümcül etkiler eşiği

Çizelge 4. Yapılar için ısı akışa bağlı etki eşiği değerleri

5 kW/m ²	Pencerelerin önemli derecede tahribat eşiği
8 kW/m ²	Domino etkisi eşiği
16 kW/m ²	Beton yapılar hariç, yapıların uzun süreli etkiye maruz kalma eşiği
20 kW/m ²	Birkaç saat boyunca betonun tutulma eşiği
200 kW/m ²	Yaklaşık on dakika içinde beton yıkım eşiği

2.2. Tehlike Senaryoları

Yüksek riske sahip sanayi bölgelerinin çevresindeki kentleşmeyi kontrol altına alabilmek için tehlike çemberlerinin belirlenmesine olanak sağlayan altı adet senaryo geliştirilmiştir.

- **Sıvılaştırılmış gaz yakıtlar:**

- A - BLEVE (Kaynayan sıvı/genleşen buhar patlaması)
- B - UVCE (Sınırlandırılmayan buhar bulutu patlaması)

- **Toksik gazlar:**

- C -Bir tutma kapasitesinin anında kaybı
- D -En güçlü kitlesel akışa sahip ani kesinti

- **Yanıcı sıvılar:**

- E -Depo yangını

- **Patlayıcılar:**

- F -Patlayıcının patlaması

2.2.1. Senaryo A

Kaynayan Sıvı/Genleşen Buhar Patlaması(BLEVE)

Sıvılaştırılmış bir gaz yakıtını içeren bir kapasitenin Kaynayan Sıvı/Genleşen Buhar Patlaması esnasında, üst sınır etkisi ortaya çıkan ısı akışıdır. Bu nedenle, basınç değişimi olmasına rağmen ısı akış etkisi dikkate alınarak tehlike çemberleri aşağıdaki korelasyonlara göre hesaplanmıştır.

Domino etki eşiğine ilişkin mesafe:

$$d(8 \text{ kW.m}^{-2}) = 1,75 \cdot M^{0,448}$$

Ölümcül eşiğe ilişkin mesafe (Yanma başına 1% ölüm oranı) :

$$d(5 \text{ kW.m}^{-2}) = 3,12 \cdot M^{0,425}$$

Önemli yanık eşiğine ilişkin mesafe :

$$d(3 \text{ kW.m}^{-2}) = 4,71 \cdot M^{0,405}$$

d : Kapasite duvarlarından itibaren hesaplanmış mesafe(m)

M : Kapasite içinde mevcut olan sıvılaştırılmış gazın maksimum kütlesi (kg)

Bütan ve Propan Patlaması (Özel Durumlar)

Bütan ya da propan patlaması sonucu ortaya çıkan ışınların söz konusu gaz miktarını yaklaşık %25 -35 oranında azalttığı belirlenmiştir. Temelde ısı akış düşünülerek aşağıdaki korelasyonlara göre tehlike çemberleri oluşturulmuştur.

Propan

Domino etki eşiğine ilişkin mesafe :

$$\text{Propan } d(8 \text{ kW.m}^{-2}) = 1,28 \cdot M^{0,448}$$

Ölümcül eşiğe ilişkin mesafe (Yanma başına 1% ölüm oranı) :

$$\text{Propan } d(5 \text{ kW.m}^{-2}) = 1,92 \cdot M^{0,442}$$

Önemli yanık eşiğine ilişkin mesafe :

$$\text{Propan } d(3 \text{ kW.m}^{-2}) = 2,97 \cdot M^{0,425}$$

Bütan

Domino etki eşiğine ilişkin mesafe :

$$\text{Bütan } d(8 \text{ kW.m}^{-2}) = 0,81 \cdot M^{0,471}$$

Ölümcül eşiğe ilişkin mesafe (Yanma başına 1% ölüm oranı) :

$$\text{Bütan } d(5 \text{ kW.m}^{-2}) = 1,72 \cdot M^{0,437}$$

Önemli yanık eşiğine ilişkin mesafe :

$$\text{Bütan } d(3 \text{ kW.m}^{-2}) = 2,44 \cdot M^{0,427}$$

d : Kapasite duvarlarından itibaren hesaplanmış mesafe (m)

M : Kapasite içinde mevcut olan sıvılaştırılmış gazın maksimum kütlesi (kg)

2.2.2. Senaryo B

Sınırlandırılmayan Buhar Bulutu Patlaması(UVCE)

Sınırlandırılmayan Buhar Bulutu Patlaması yırtılma/yarılma sonucu oluşan kaçağın bir enerji ile karşılaşması sonucunda meydana gelmektedir. Metod, bulut içinde mevcut patlayıcı buharın, maksimum miktarını ve patlama etkilerini saptamayı kapsamaktadır.

Domino etki eşiğine ilişkin mesafe :

$$d(200 \text{ mbar}) = 7,6 \cdot M^{1/3}$$

Ölümcül eşiğe ilişkin mesafe (Yanma başına 1% ölüm oranı) :

$$d(140 \text{ mbar}) = 10 \cdot M^{1/3}$$

Önemli yanık eşiğine ilişkin mesafe :

$$d(50 \text{ mbar}) = 22 \cdot M^{1/3}$$

d : mesafe (m)

M : TNT 'ye denk kütle (kg)

2.2.3. Senaryo C ve D

Bu senaryolara ilişkin hesaplama iki aşamada gerçekleştirilmiştir:

- Serbest kalan gaz miktarının değerlendirilmesi
- CEA - DOURY atmosferik dağılım modeli yardımıyla toksik yoğunlaşmanın değerlendirilmesi.

%1 ölüm oranındaki ölümcül etkiler ve geri döndürülemez etkiler maddelerin zehirlilik oranlarına bağlıdır. Örnek olarak, klor gazı için aşağıdaki değerler belirlenmiştir:

Ölümcül etkilerin başladığı doz:

3 dakika boyunca 360 ppm

Sağlık üzerinde geri döndürülemez etkilerin başladığı doz:

3 dakika boyunca 65 ppm

Toksik dağılımın belirlenmesi

- Atmosferik Kararlılık

Atmosferik kararlılık 6 sınıfa ayrılan Pasquill model ile tanımlanır: çok kararsız atmosferler (A, B), nötr atmosferler (C, D) ve çok kararlılar (E, F)

Doury sınıflandırma sistemi ise, sadece iki sınıfta tanımlanır: Pasquill'in A ve B sınıflarını gruplandıran normal dağılım (DN) ve Pasquill'in E ve F sınıflarını gruplandıran düşük dağılım (DF).

Gerçekte, atmosfer kararsızken, dikey atmosferik dağılım korunur ve yayılan ürünün önemli bir kısmı toprağa doğru dağılır böylece topraktaki kirletici konsantrasyonu yükselir. Buna karşın, atmosfer kararlıyken, kirliliğin dikey olarak dağılıma eğilimi düşüktür. Dağılım yüksekte gerçekleşir ve topraktaki kirletici konsantrasyonu oldukça düşer. Rüzgâr hızı ve mesafesine göre topraktaki maksimum Atmosferik Transfer Katsayısı(ATC) belirlenmektedir.(Atmosfer koşulları: düşük difüzyon, 0 - 5m/s rüzgâr hızı)

ATC değeri bilinerek, havadaki toksik yoğunlaşmasını azaltmak mümkün olmaktadır. İlgili korelasyon aşağıda verilmiştir:

$$C = Q \cdot ATC$$

C : yoğunlaşma ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Q : kütle akışı ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

ATC : ($\text{s} \cdot \text{m}^{-3}$)

2.2.4. Senaryo E

En büyük haznede yangın

Domino etki eşiğine ilişkin mesafe:

$$d(8 \text{ kW/m}^{-2}) = 2,25 L^{0,85} (1 - 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot L^{0,85})$$

Ölümcül eşiğe ilişkin mesafe (Yanma başına 1% ölüm oranı):

$$d(5 \text{ kW.m}^{-2}) = 2,8 \cdot L^{0,85} (1 - 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot L^{0,85})$$

Önemli yanık eşiğine ilişkin mesafe:

$$d(3 \text{ kW.m}^{-2}) = 3,7 \cdot L^{0,85} (1 - 3 \cdot 10^{-3} \cdot L^{0,85})$$

d : mesafe (m)

L : haznenin en büyük kenarının uzunluğu (m)

Sabit tavanlı bir tankın gaz fazının patlaması

Ölümcül eşiğe ilişkin mesafe (Yanma başına 1% ölüm oranı):

$$d(140 \text{ mbar}) = 0,068 (P_s \cdot D^2 \cdot H)^{1/3}$$

Önemli yanık eşiğine ilişkin mesafe:

$$d(50 \text{ mbar}) = 0,076 (P_s \cdot D^2 \cdot H)^{1/3}$$

d : mesafe (m)

P_s : mutlak basınç (Pa)

D : tank çapı (m)

H : tank yüksekliği (m)

Ağır bir ürün tankı üzerinde kaynamaya bağlı taşma

$$DIST = A.MLIQ^B$$

DIST : Eşik etki mesafesi(m)

MLIQ : Yangının başında tanktaki hidrokarbon kütlesi(kg)

A,B : Depolanan ürün ve eşik değere göre belirlenen sabitler

Oldukça yaygın olarak kullanılan üç temel ürünün(akaryakıt, ham petrol, hafif ham petrol) kaynama sonucu taşmasına ait etki mesafelerinin belirlenmesi mümkündür[5,6]. Çizelge 6' da depolanan ürünler için A,B sabit değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5. Depolanan ürünler için A, B sabitleri [6]

Depolanan ürün	Geri döndürülemez etki(600 (kw/m ²) ^{4/3} .s) mesafesi, m		Ölümcül etki(1000(kw/m ²) ^{4/3} .s) mesafesi, m		Önemli ölümcül etki(1800(kw/m ²) ^{4/3} .s) mesafesi, m	
	A	B	A	B	A	B
Akar yakıt (2.derece)	0,573	0,449	0,420	0,455	0,264	0,467
Ham petrol	0,345	0,452	0,249	0,460	0,140	0,478
Hafif ham petrol	0,363	0,448	0,267	0,454	0,170	0,466

İlgili sabitler, korelasyonda yerine konularak üç aşamalı (ölümcül, önemli ölümcül ve geri döndürülemez) etki mesafeleri hesaplanabilmektedir.

2.2.5. Senaryo F

Patlayıcı kütlesinin patlaması

Ölüm ile sonuçlanabilecek ya da ciddi hasarlara yol açabilecek mesafe:

$$d(140 \text{ mbar}) = 8 \cdot Q^{1/3}$$

Hafif yaralanma ya da hasar olasılığı eşiğine ilişkin mesafe :

$$d(50 \text{ mbar}) = 22 \cdot Q^{1/3}$$

d : mesafe (m)

Q : patlayıcı kitle (kg)

2.3. Örnek Uygulama

- Senaryo A-Kaynayan sıvı/genleşen düşünülerek amonyak depolayan bir
- Amonyak, kaynama noktasının çok şartlar altında gaz halinde olan bir sıcaklık -33°C 'ye getirilerek gaz hal

Domino etki eşğine ilişkin mesafe:
 $d(8 \text{ kW.m}^{-2}) = 1,75 \cdot M^{0,448}$

Ölümcül eşğe ilişkin mesafe (Yanma başına 1% ölüm oranı):

$$d(5 \text{ kW.m}^{-2}) = 3,12 \cdot M^{0,425}$$

Önemli yanık eşğine ilişkin mesafe :
 $d(3 \text{ kW.m}^{-2}) = 4,71 \cdot M^{0,405}$

Çizelge 6. Örnek uygulamada kullanılan amonyak tankının özellikleri

Tank sıcaklığı	-33°C
Tank basıncı	Atmosferik
Depolanan max. amonyak kütlesi	25 000ton

Çizelge 7. Örnek uygulamada kullanılan amonyak tankı için belirlenen etki mesafeleri

Domino etki eşğine ilişkin mesafe (8 kW.m^{-2})	3608 m
Ölümcül eşğe ilişkin mesafe (5 kW.m^{-2})	4347 m
Önemli yanık eşğine ilişkin mesafe (3 kW.m^{-2})	4669 m



Şekil 2. Örnek uygulamada kullanılan amonyak tankına ait koruma alanları

Basit bir amonyak tankı için etki mesafesinin harita üzerinde nerelere etki edebileceği kolaylıkla görülmektedir.

3. SONUÇLAR

- Bu çalışmada, Hollanda' da yayımlanan tehlikeli maddelerin fiziksel etkilerinin hesaplanması konulu Yellow Book incelenerek endüstri tesisleri için korelasyonlar yardımı ile koruma alanları belirlenmeye çalışılmıştır.
- Koruma alanları, korelasyon sonucu belirlenen mesafeler kullanılarak tehlike kaynağı merkezli çemberler şeklinde oluşturulmuştur.
- Tehlike çemberleri basınç, ısı akışı ve toksik akış etkilerine göre değerlendirilmiştir.
- Etki mesafelerinin belirlenmesinde sıvılaştırılmış gaz yakıtlar için Senaryo A(Bleve), Senaryo B(UVCE); toksik gazlar için Senaryo C ve D; yanıcı sıvılar için Senaryo E ve patlayıcılar için Senaryo F olmak üzere altı adet senaryo geliştirilmiştir.

- Etki mesafeleri, her bir senaryoda ölümcül etki eşiği, önemli yanık eşiği ve domino etki eşiği mesafesi olmak üzere üç aşamalı olarak değerlendirilmiştir.
- Amonyakın bir tankta depolanması örnek uygulama olarak seçilmiş, yalnızca amonyak kütle verisi kullanılarak korelasyonlar yardımı ile basit bir şekilde etki mesafeleri belirlenmiştir. Google Earth uygulamasından yararlanılarak tank merkezli tehlike çemberleri çizilmiştir.

Çalışmanın, **kompleks olmayan, bünyesinde basit depolama tank ünitelerinin bulunduğu endüstri tesisleri** için koruma alanlarının belirlenmesi yönündeki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. **Yalnızca, depolanan ürün kütlesi, mutlak basınç, tank boyutu(çap, uzunluk) verileri kullanılarak hızlı bir şekilde etki mesafelerinin belirlenmesi** mümkün olmaktadır. Kompleks olmayan, basit depolama tankı barındıran tesislerde, pahalı software uygulamaları kullanılmadan, örneğin excel programından yararlanılarak **hızlı bir şekilde etki mesafesi değerlendirmesi** yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

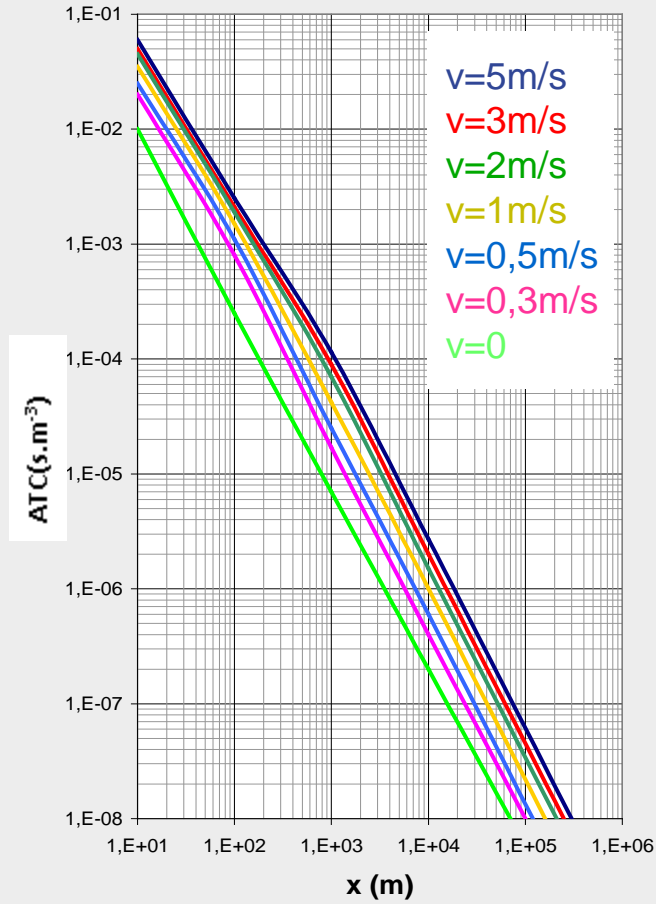
- [1] Baybutt, P., 2014. "Requirements for improved process hazard analysis (PHA) methods", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32, 182-191.
- [2] Gariazzo, C., Pelliccioni, A. and Bragatto, P., 2012. "Simulation of Accidental Release by Means of two Different Modeling Approaches", *Chemical Engineering Transactions*, 26, 555-560.
- [3]"Methods for the calculation of Physical Effects"- due to releases of hazardous materials(liquids and gases), VROM, 'Yellow Book', CPR 14E, Editors: C.J.H. van den Bosch, R.A.P.M. Weterings, 3rd ed., Committee for the Prevention of Disasters, 2005.
- [4] Pasquill, F., 1961. "The estimation of the dispersion of windborne material", *The Meteorological Magazine*, 90, 1063, 33-49.
- [5] Broeckmann, B., Schecker, H.G., 1992. "Boilover effects in burning oil-tanks", 7th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Taormina Italy.
- [6] Broeckmann, B., Schecker, H.G., 1995. "Heat transfer mechanisms and boil-over in burning oil-water systems", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 8, 3,137- 147.



TEŞEKKÜRLER...



EKLER



Atmosferik Transfer Katsayısının belirlenmesi